RadHardDetSim

Radiation Hardening of Silicon Carbide Particle Detectors using Device Simulation

Programm / Ausschreibung	FinVn 22/23, Kooperationsstrukturen, Bridge Ausschreibung 2022	**Status**	abgeschlossen
Projektstart	01.11.2022	**Projektende**	31.10.2025
Zeitraum	2022 - 2025	**Projektlaufzeit**	36 Monate
Keywords	semiconductor; TCAD simulation; silicon carbide; particle detector; radiation		

Projektbeschreibung

Nach jahrelanger Arbeit mit ultra-reinem Silizium als Substratmaterial für Teilchendetektoren hat der PI dieses Proposals mit seiner Arbeitsgruppe kürzlich begonnen, Siliziumkarbid (SiC) als mögliche Alternative dazu zu untersuchen. Dieses Verbundmaterial aus Silizium und Kohlenstoff, das vom Namen her sehr ähnlich klingt, hat aber im Vergleich zu Silizium viele unterschiedliche Eigenschaften. Obwohl SiC im Prinzip schon seit etwa hundert Jahren bekannt ist, hat die Halbleiterindustrie erst in den letzten Jahren damit begonnen, es großflächig zu nutzen und darauf basierende Bauelemente herzustellen. Der Grund dafür ist die kompliziertere Kristallstruktur, die es bisher noch nicht erlaubte, das Substratmaterial in der erforderlichen Reinheit effizient herzustellen, und die kompliziertere Verarbeitung. Das Material hat jedoch mehrere vorteilhafte Eigenschaften wie geringer Leckstrom, hohe Wärmeleitfähigkeit und Hochtemperaturverträglichkeit und sehr hohe Durchbruchfeldstärken. Es ermöglicht dadurch die Entwicklung und Herstellung effektiverer und damit umweltfreundlicher Elektronik für den Antriebsstrang von Elektroautos sowie elektronischer Umrichter, die u.a. für den großflächigen Einsatz von energieeffizienten LED-Beleuchtungen und die Stromerzeugung aus Photovoltaik erforderlich sind. Mit der ständig wachsenden Rechenleistung werden heutzutage viele industrielle Entwicklungsschritte bereits mittels Computersimulationen durchgeführt, wodurch die Industrie ihre Produkte schneller auf den Markt bringen kann. Durch die damit einhergehende Reduktion von physischen Prototypen werden Forschung und Entwicklung für neue und optimierte Produkte dadurch kostengünstiger und ressourcenschonender. Die Global TCAD Solutions GmbH, die 2008 als Spin-Off des Instituts für Mikroelektronik der TU Wien gegründet wurde, verfügt über ein etabliertes, kommerziell vertriebenes Softwarepaket, um diese Simulationen durchzuführen. Im Rahmen des in diesem Antrag beschriebenen Projekts werden wir die Simulationsmodelle erweitern, um SiC-Bauelemente damit besser beschreiben und genauer simulieren zu können. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die korrekte Simulation des Durchgangs von Teilchen durch das SiC-Substrat, sowie auf die Modellierung von Strahlungseffekten und deren experimentelle Validierung gelegt. Das wird zu einem besseren Verständnis von sogenannten Single-event Transienten (SETs) und -Upsets (SEU) in SiC-basierter Elektronik führen. Dieses Wissen ist entscheidend für die Elektronik in Satelliten, die intensiver kosmischer Strahlung ausgesetzt ist. Mittlerweile werden diese Effekte aber auch in Haushaltselektronik immer relevanter, da die Halbleiterstrukturen immer kleiner und dadurch auch anfälliger dafür werden.
Am Institut für Hochenergiephysik der Österreichischen Akademie der Wissenschaften wird das Material auf seine Eignung

als Teilchendetektor überprüft. Wir werden SiC Prototypen mittels Teilchen aus radioaktiven Quellen und Laserpulsen in den institutseigenen Reinräumen und Labors testen. Wir werden sie bei MedAustron Protonenstrahlen aussetzen und künstlich Kristallschäden verursachen, um die Simulationsmodelle zu validieren und zu verbessern.
Unsere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten werden dazu beitragen, Siliziumkarbid sowohl als Material für Teilchendetektoren als auch für effiziente Leistungselektronik besser zu verstehen und zu optimieren. Damit ausgestattete Detektorsysteme können schnellere Signale liefern, länger dem Teilchenbeschuss standhalten und ohne Kühlung arbeiten. Dies erlaubt attraktive Anwendungen in der Hochenergiephysik, aber auch in der medizinischen Strahlentherapie, wo der Durchgang von Teilchen und Strahlungsschäden von wesentlicher Bedeutung sind.
Damit ist es insgesamt möglich, einen schnelleren Übergang zu einer nachhaltigen, klimaneutralen Zukunft zu ermöglichen.

Abstract

After years of working with high-purity silicon as substrate material for particle detectors, the PI of this application recently started investigating silicon-carbide (SiC) as a possible alternative. This composite material of silicon and carbon, which sounds very similar in name, has many different properties compared to silicon. Although SiC has been known in principle for about a hundred years, the semiconductor industry has only begun recently to use it widespread for manufacturing electrical components. This is due to its more complicated crystal structure, which did not allow to produce substrate material of necessary purity efficiently yet, and the more complicated processing. The material, however, has several advantageous properties: low leakage current, high thermal conductivity and high-temperature compatibility, very high breakdown field strengths, and others. It allows to design and produce environmentally friendly electronics for the powertrain in electric cars, as well as electronic inverter components necessary to drive LED-based illumination or electricity generation from photovoltaics.
With the ever-increasing computing power, many industrial development steps are nowadays shifted to simulations done in software, which enables the industry to bring their products faster to the market. By eliminating the physical prototyping steps, research and development for new and optimized products becomes more cost-effective and resource-friendly. Global TCAD Solutions GmbH, which was founded as a spin-off company from the Institute for Microelectronics of TU Vienna in 2008, has an established simulation software product commercially available to perform these simulations. Within the project described in this proposal, we will extend its simulation models to describe and simulate SiC devices more precisely. Particular emphasis will be laid on the proper simulation of the passage of particles through SiC substrate, as well as modeling radiation effects and validating them experimentally. It will help to better understand Single Event-Transients (SETs) and -Upsets (SEU) in SiC-based electronics. This knowledge is crucial for satellites electronics and other space applications. It is also becoming essential in everyday electronics, which also get susceptible to these effects due to the ever-shrinking feature sizes down to a few Nanometer levels.
At the Institute for High Energy Physics of the Austrian Academy of Sciences, the material is being studied experimentally for its suitability as a particle detector. We will test the response of prototype devices to impinging particles from radioactive sources, and laser pulses in the institute's own clean rooms and laboratory. We will expose it to proton beams at MedAustron and artificially introduce crystal damage to validate and improve the simulation models.
The R&D conducted under this project will help to better understand and optimize silicon carbide as a material for particle detectors and efficient power electronics. Detector systems equipped with it can deliver faster signals, are more tolerant against particle bombardment, and can operate without cooling. This allows attractive applications in high-energy physics, but also in medical radiotherapy, where the passage of particles and radiation damage is essential.
Overall, this makes it possible to enable a faster transition to a sustainable, climate-neutral future.

Projektkoordinator

- Österreichische Akademie der Wissenschaften MBI - Marietta-Blau-Institut für Teilchenphysik der Österreichischen Akademie der Wissenschaften

Projektpartner

- Global TCAD Solutions GmbH